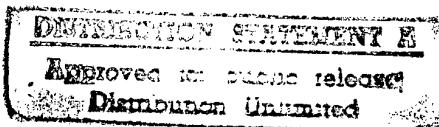




TNO-rapport
PML 1997-A19

IJking hexocire donors voor de TNO-gaptest

TNO Prins Maurits Laboratorium



Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42
Fax 015 284 39 58

Datum
mei 1997

Auteur(s)
Ing. M.P. van Rooijen
Dr. ir. R.H.B. Bouma

Rubricering
Vastgesteld door : Ing. J.A. van Gool
Vastgesteld d.d. : 28 april 1997
(deze rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd
Managementuitreksel : Ongerubriceerd
Samenvatting : Ongerubriceerd
Rapporttekst : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor Onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

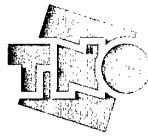
Exemplaarnr. : 12
Oplage : 25
Aantal pagina's : 19 (excl. RDP & distributielijst)

© 1997 TNO

19970612 072

TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
TNO Technische Menskunde



DTIC QUALITY INSPECTED 1

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Managementuittreksel

Titel : IJking hexocire donors voor de TNO-gaptest
Auteur(s) : Ing. M.P. van Rooijen en Dr. ir. R.H.B. Bouma
Datum : mei 1997
Opdrachtnr. : A94KL482
Rapportnr. : PML 1997-A19

In het kader van de opdracht A94KL482, Schokinitiatie Explosieve Stoffen, zijn aan verscheidene explosieven schokinitiatie-experimenten uitgevoerd met behulp van de TNO-gapstest. In dit rapport wordt de ijking van de TNO-gapstest beschreven.

De TNO-gapstest is één van de methoden waarmee het mogelijk is om de gevoeligheid van een explosief voor een invallende schokgolf te bepalen. Hierbij wordt gebruikgemaakt van een donorlading, een polymethylmethacrylaat PMMA-verzwakker (de gap) en een acceptorlading (de te testen explosieve stof). Door de lengte van de plexiglas gap te veranderen wordt de drukpuls gevarieerd die aan het te testen explosief wordt opgelegd. Op deze manier kan de gevoeligheid van een explosief voor stoot worden gekwantificeerd. Het donorsysteem van de TNO-gapstest (hexocire lading met PMMA-buffer) is in de loop van de tijd zes keer geijkt. Het herijken is noodzakelijk gebleken nadat in november 1994 de samenstelling van de hexocire donor is veranderd. Bij de ijking van het donorsysteem wordt de druk als functie van de lengte van de plexiglas gap bepaald. Daartoe wordt de plaats van het schokfront in de plexiglas gap, als functie van de tijd, vastgelegd met een streakcamera. Daarmee is de druk van de schokgolf in PMMA als functie van de lengte van de plexiglas gap, en de gebruikte donorlading, te berekenen.

Het is gebleken dat de verandering van de samenstelling van het hexocire invloed heeft op de ijkcurven. De reproduceerbaarheid van de ijkcurve (druk versus lengte van PMMA-gap) bij korte gaps (dat is korter dan 10 mm) en bij lange gaps (langer dan 40 mm) is nog te laag. Om de test te optimaliseren kan één patroon van 50 mm lengte gebruikt worden om effecten geïntroduceerd door de overgang tussen de twee donorpatronen te elimineren. Daarnaast kan het automatisch verwerken van de streakfilms tezamen met een andere numerieke methode om de data te verwerken tot betere resultaten leiden.

Samenvatting

De TNO-gaptest is één van de methoden waarmee het mogelijk is om de gevoeligheid van een explosief voor een invallende schokgolf te bepalen. Het systeem bestaat uit een donorlading, een polymethylmethacrylaat PMMA-verzwakker (de gap) en een acceptorlading (de te testen explosieve stof). Door de lengte van de gap te veranderen wordt de invallende drukpuls gevarieerd. Het donorschysteem (hexocirelading met PMMA-buffer) is zes keer geijkt. Dit is noodzakelijk gebleken omdat in november 1994 de samenstelling van de hexocire-donor is veranderd. Bij de ijking van het donorschysteem wordt de druk als functie van de lengte van de gap bepaald. Het is gebleken dat de verandering van de samenstelling van de hexociredonor ook een andere ijkgrafiek oplevert. De reproduceerbaarheid van de ijkcurve is bij korte gaps (dat is korter dan 10 mm) en bij lange gaps (langer dan 40 mm) nog te klein. Dit wordt mede veroorzaakt door de gebruikte fitmethode. De gevonden ijkcurven (druk versus lengte van PMMA-gap) zijn daarom goed toepasbaar in het gebied tussen 10 en 40 mm.

Inhoud

| | |
|--|----|
| Managementuitreksel | 2 |
| Samenvatting | 3 |
| 1 Inleiding | 5 |
| 2 Hexocire donors | 6 |
| 3 Principe van de ijking van de TNO-gaptest | 7 |
| 4 Verschillen tussen de hexocire batches..... | 12 |
| 5 IJkljin nieuwe hexocire donor..... | 15 |
| 6 Conclusies | 17 |
| 7 Referenties..... | 18 |
| 8 Ondertekening | 19 |

1 Inleiding

In het kader van de opdracht A94KL482, Schokinitiatie Explosieve Stoffen, zijn aan verscheidene explosieven schokinitiatie-experimenten uitgevoerd met behulp van de TNO-gaptest. In dit rapport wordt de ijking van de TNO-gaptest beschreven.

De TNO-gaptest is één van de methoden waarmee het mogelijk is om de gevoeligheid van een explosief voor een invallende schokgolf te bepalen. Hierbij wordt gebruikgemaakt van een donorlading, een polymethylmethacrylaat PMMA-verzwakker (de gap) en een acceptorlading (de te testen explosieve stof). Door de lengte van de plexiglas gap te veranderen wordt de drukpuls gevarieerd die aan het te testen explosief wordt opgelegd. Op deze manier kan de gevoeligheid van een explosief voor stoot worden gekwantificeerd.

Het donorsysteem van de TNO-gaptest (hexocire lading met PMMA-buffer) is in de loop van de tijd zes keer geijkt. Het herijken is noodzakelijk gebleken nadat in november 1994 de samenstelling van de hexocire donor is veranderd.

Bij de ijking van het donorsysteem wordt de druk als functie van de lengte van de plexiglas gap bepaald. Daartoe wordt de plaats van het schokfront in de plexiglas gap, als functie van de tijd, vastgelegd met een streakcamera (zie werkvoorschrift TNO-gaptest). De experimenteel bepaalde plaats-tijd relatie van het schokfront wordt gefit aan een geschikte wiskundige vergelijking. Door de tijdsafgeleide van deze vergelijking te berekenen kan de snelheid van het schokfront worden bepaald. Met behulp van de reeds bekende Hugoniot-vergelijking van plexiglas kan hieruit de druk worden berekend. Daarmee is de druk van de schokgolf in PMMA als functie van de lengte van de plexiglas gap, en de gebruikte donorlading, bekend. In hoofdstuk 2 worden de gegevens van de oude en de nieuwe batch hexocire weergegeven. In hoofdstuk 3 wordt de ijking van het donorsysteem beschreven. In hoofdstuk 4 worden de verschillen tussen de oude en de nieuwe hexocire batch geduid en in hoofdstuk 5 wordt de nieuwe ijklijn gepresenteerd.

2 Hexocire donors

In november 1994 is de samenstelling van de hexocire donor die wordt gebruikt voor de TNO-gapttest veranderd. Met deze nieuwe batch is een nieuwe serie ijkmetingen uitgevoerd (New1, New2, New3). Deze worden vergeleken met de ijkmetingen van het oude hexocire (Old1, Old2, Old3). De oude en de nieuwe hexocire batches hebben de volgende samenstelling:

| | |
|--------------------|---|
| 1 Oude batch | RDX/was/grafiet (95,0/4,5/0,5 gewichtsprocent) |
| Fabrikant | SNPE, Frankrijk |
| Lot no. | TL 22-88 (nummer van pyrotechniek), jaar 1988 |
| Gehalte HMX in RDX | <=0,035 gewichtsprocent (de detectielimiet) |
| Deeltjesgrootte | gezeefde fractie van 710-850 µm |
| 2 Nieuwe batch | RDX/was/grafiet (94,5/4,5/1,0 gewichtsprocent) volgens TL-1376-0815, edition 3 |
| Fabrikant | Dyno Industrier AS, Noorwegen |
| Lot no. | NSI-10-10, datum 16-08-94 |
| Gehalte HMX in RDX | 6,4 gewichtsprocent |
| Deeltjesgrootte | complete batch |

De donorpatronen hebben dezelfde maten en dichtheid.

- Diameter 50,0 mm
- Lengte 25,0 mm
- Dichtheid 1,54 g/cm³

Voor één donorlading worden twee aan elkaar bevestigde patronen gebruikt.

3 Principe van de ijking van de TNO-gaptest

Er bestaat een grote verscheidenheid aan gaptesten om de gevoeligheid van springstoffen voor druk te bepalen. Afhankelijk van het materiaal van de gap staan er verschillende methodes ter beschikking om de gaptest te calibreren. In het geval van een ondoorzichtige gap kan men of direct de druk, dan wel de oppervlaktesnelheid aan het uiteinde van de gap meten [1]. Een groot nadeel is dat voor de bepaling van de ijkcurve meerdere metingen moeten worden gedaan, waarbij de gaplengte wordt gevarieerd. Een doorzichtige gap heeft dit nadeel niet en men kan optisch de plaats van het schokfront als functie van de tijd in één lange gap bepalen. Voorbeelden hiervan zijn de BICT-gaptest [2] en de NSWC expanded large scale gap test [3], met respectievelijk water en polymethylmethacrylaat als verzwakkend medium.

Afhankelijk van de hoeveelheid data die in de ijkmeting(en) wordt verkregen, kan men volstaan met een experimentele ijkcurve [3] of men fit een curve door de experimentele gegevens [1, 2].

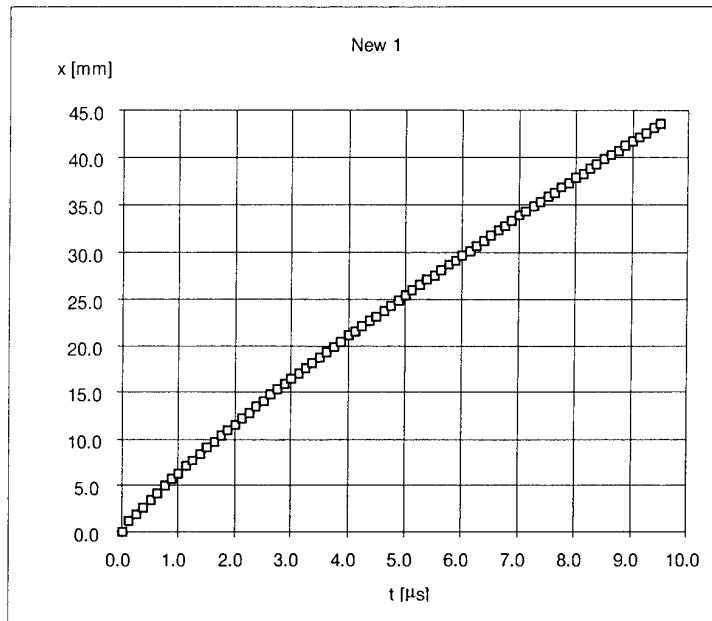
In de TNO-gapstest wordt een PMMA-gap gebruikt en kan de ijkcurve in één enkel experiment worden bepaald. Vanwege het tijdrovende uitlezen van de streakfilm met een microscoop wordt een curve gefit door de meetgegevens.

In de TNO-gapstest wordt met behulp van een streakcamera de voortplanting van de schokgolf in de PMMA-gap opgenomen. Het licht afkomstig van een flitser gaat door de gap en wordt met behulp van lensen en spiegels op de film in de streakcamera afgebeeld. De positie van het schokfront wordt waargenomen als een lokale verduistering van het licht dat door de gap op de streakfilm is geprojecteerd. De lengterichting van de film komt overeen met de tijd en loodrecht daarop staat de afstand langs de gap.

Na het uitlezen van de film moeten de verkregen data worden omgezet naar werkelijke tijd- en plaatscoördinaten. De vergrotingsfactor voor de tijd-as is afhankelijk van de omwentelingssnelheid van de spiegel in de streakcamera. Voor de TNO-gapstest (omwentelingstijd 500 μ s) bedraagt deze 0,125 μ s/mm. De vergrotingsfactor voor de afstand langs de gap is afhankelijk van de plaatsing van de testopstelling in de bunker. Daarom wordt aan het begin van de streakfilm een statische opname gemaakt. Omdat uit de streakfilm de overgang van de donor naar de gap tijdens schokgolfdoorgang niet goed zichtbaar is, zijn er twee referentielijnen rondom op de PMMA-gap gemaakt. Deze bevinden zich op 5 en 10 mm afstand van het donor/gap raakvlak. Uit de twee referentielijnen wordt de vergrotingsfactor bepaald. De vergrotingsfactor in een TNO-gapstest ligt meestal rond de 2,1.

De streakfilm wordt uitgelezen met een microscoop waarvan de tafel in één richting slechts over 25 mm kan verschuiven. Hoewel in de ijkmetingen de PMMA-gap 100 mm lang is wordt de ijkcurve slechts bepaald over een lengte van maximaal 25 mm keer de vergrotingsfactor, dat is circa 50 mm.

In figuur 1 is de plaats x_{meting} van het schokfront uitgezet tegen de tijd t voor meting New1, de eerste ijkmeting van de nieuwe batch hexocire donors.



Figuur 1: Plaats van het schokfront x uitgezet tegen tijd t in meting New1.

De data van plaats tegen tijd worden gefit met de volgende vergelijking met vier fitparameters.

$$x(t) = PARM[1] + PARM[2] \cdot t - PARM[3] \cdot e^{-PARM[4] \cdot t} \quad (1)$$

Uit eerder onderzoek [4] is gebleken dat deze formule een goede fit geeft voor schokgolfsnelheidsmetingen waarbij demping optreedt. De eerste twee termen vormen een rechte waarvan de helling gelijk is aan de initiële schokgolfsnelheid, en de laatste term geeft de demping van de schokgolf aan. Het fitten is uitgevoerd in een spreadsheet waarbij de kleinste-kwadraten-methode wordt toegepast. In de spreadsheet wordt het verschil berekend tussen elk gemeten datapunt x_{meting} en de bijbehorende waarde x uit vergelijking 1. Deze verschillen worden gekwadrateerd, $(x_{meting}-x)^2$, en vervolgens bij elkaar opgeteld. Deze som wordt geminimaliseerd door de parameters PARM[1], PARM[2], PARM[3] en PARM[4] te variëren. In de spreadsheet ziet dat er als volgt uit.

Tabel 1: Spreadsheet gebruikt bij het fitten van vergelijking 1 door de data van figuur 1. Kolom 1 geeft de tijden waarop de plaats van het schokfront op de film (kolom 2) wordt uitgelezen. Na omrekening volgt de plaats van het schokfront in PMMA, kolom 3. Kolom 4 en 5 geven respectievelijk de gefitte plaats en snelheid van het schokfront, en kolom 8 de uit kolom 1 en 3 berekende snelheid.

| Metting: New1 | | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------|---------|-----------------------|---------------------------|-------|
| Gefitte vergelijking: $f(t) = PARM[1] + PARM[2] \cdot t - PARM[3] \cdot \exp(PARM[4] \cdot t)$ | | | | | | | |
| estimate | | | | | | | |
| | PARM[1] | PARM[2] | PARM[3] | PARM[4] | | | |
| | 8,242 | 3,783 | 7,816 | 0,305 | | | |
| t | x _{invoer} | x _{meting} | x(t) | v(t) | (x(t)-x) ² | x _{meting} -x(t) | dx/dt |
| 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,426 | 6,165 | 0,181 | -0,426 | |
| 0,125 | 2,435 | 1,166 | 1,191 | 6,076 | 0,001 | -0,025 | 9,325 |
| 0,250 | 2,780 | 1,814 | 1,945 | 5,990 | 0,017 | -0,131 | 5,189 |
| 0,375 | 3,160 | 2,529 | 2,688 | 5,908 | 0,026 | -0,160 | 5,715 |
| - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - |
| - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - |
| - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - |
| 9,500 | 24,995 | 43,578 | 43,749 | 3,915 | 0,029 | -0,171 | 3,685 |
| | | | | | 0,313 | | |

De schokgolfsnelheid kan worden berekend door van vergelijking 1 de tijdsafgeleide te bepalen en de gefitte parameters in te vullen.

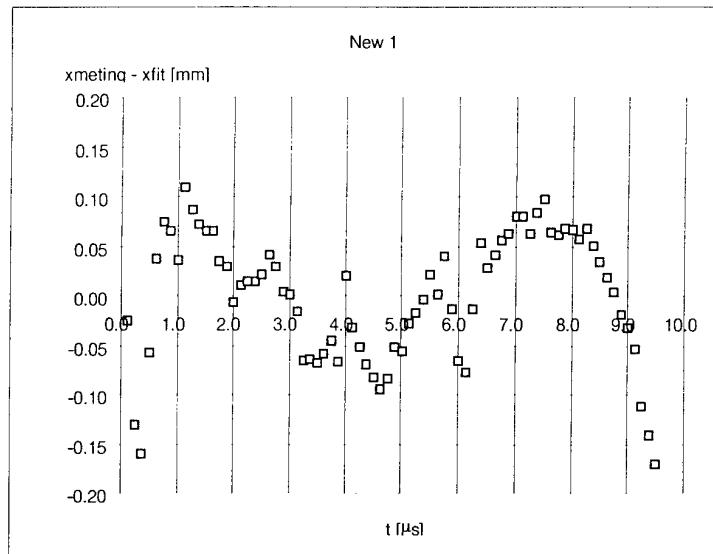
$$U_s = PARM[2] + PARM[3] \cdot PARM[4] \cdot e^{-PARM[4] \cdot t} \quad (2)$$

Daarnaast is de schokgolfsnelheid direct te bepalen uit de meetdata door het verschil tussen twee opeenvolgende gemeten posities van het schokfront te delen door het bijbehorende tijdsverschil (kolom 8 in de spreadsheet).

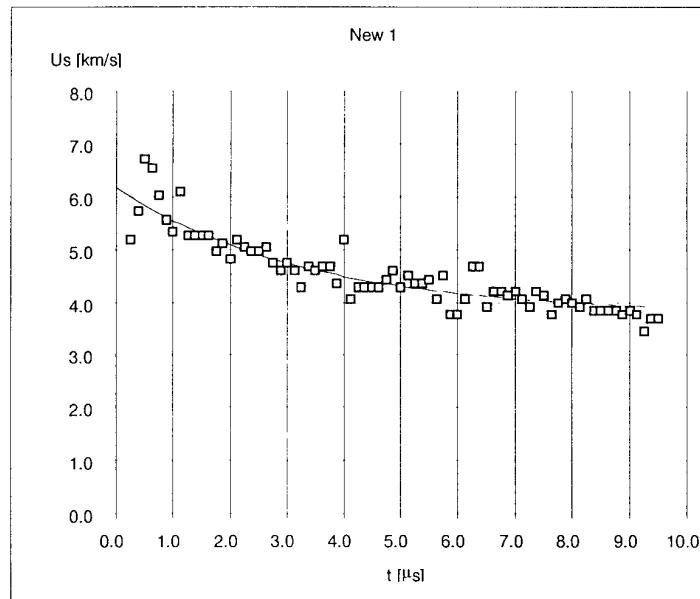
$$U_s = \frac{dx}{dt} = \frac{(x_{n+1} - x_n)}{(t_{n+1} - t_n)} \quad (3)$$

Figuur 2 toont het verschil tussen x_{meting} en x, en is een maat voor de nauwkeurigheid waarmee de data kan worden gefit aan vergelijking 1.

In figuur 3 staan de schokgolfsnelheden berekend met vergelijking 2 en 3.



Figuur 2: Verschil tussen de gemeten en de uit vergelijking 1 berekende positie van het schokfront in meting New1.



Figuur 3: Schokgolfsnelheid in PMMA uitgezet tegen tijd voor de data van figuur 1 (meting New1), en berekend met vergelijkingen 2 (doorgetrokken lijn) en 3 (punten).

De spreiding van de met vergelijking 3 berekende waarden, rondom de fit is te wijten aan het uitlezen van de streakfilm met discrete tijdsintervallen. Wanneer de film met nog kleinere tijdsintervallen dan de huidige $0,125 \mu\text{s}$ wordt uitgelezen, dan zal de spreiding nog meer toenemen omdat de absolute nauwkeurigheid van de plaats- en tijdsbepaling dezelfde blijft. Dit effect is duidelijk zichtbaar bij de experimentele calibratie van de NSWC expanded large scale gap test [3], waar de

streakfilm wordt uitgelezen met een tijdsincrement van 27,7515 ns. De waarde van de maximale fluctuatie rond de gemiddelde schokgolfsnelheid bedraagt zelfs meer dan 1 km/s.

Met behulp van de Hugoniot van PMMA [5] kan men de deeltjessnelheid u_p uitrekenen.

$$U_s = 1553 \cdot u_p + 2561 \quad (U_s \leq 6161 \text{ m/s}) \quad (4)$$

De druk P van de schokgolf in PMMA wordt vervolgens bepaald met

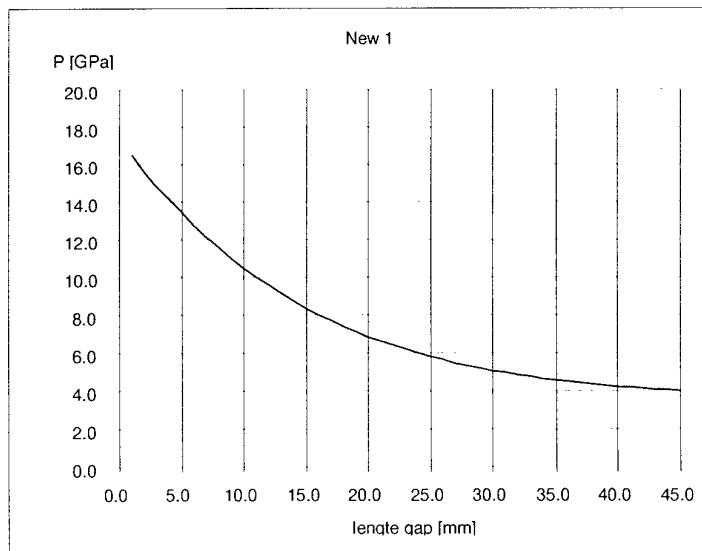
$$P = U_s \cdot u_p \cdot \rho \quad (5)$$

met ρ de dichtheid van PMMA, dat is 1186 kg/m^3 .

Herschrijven van vergelijking 4 en 5 geeft

$$P = U_s \cdot \frac{(U_s - 2561)}{1553} \cdot 1186 \quad (6)$$

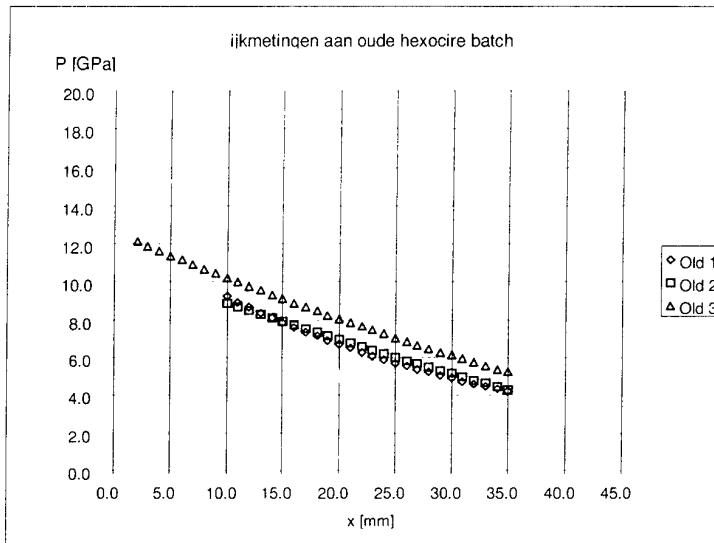
Met behulp van vergelijking 1 is de plaats en de schokgolfsnelheid als functie van de tijd te berekenen. Met vergelijking 6 kan daarna de druk als functie van de tijd worden berekend. In figuur 4 is de druk in plexiglas uitgezet tegen de bijbehorende plaats van het schokfront. De lengte van de PMMA-gap tussen de gespecificeerde donor en de te testen acceptorlading, bepaalt de grootte van de drukpuls die aan de acceptor wordt opgelegd. Let wel: in de TNO-gaptest wordt de gevoeligheid van een springstof getest met de druk in PMMA als referentie, daar de Hugoniot van de te testen springstof vaak niet bekend is.



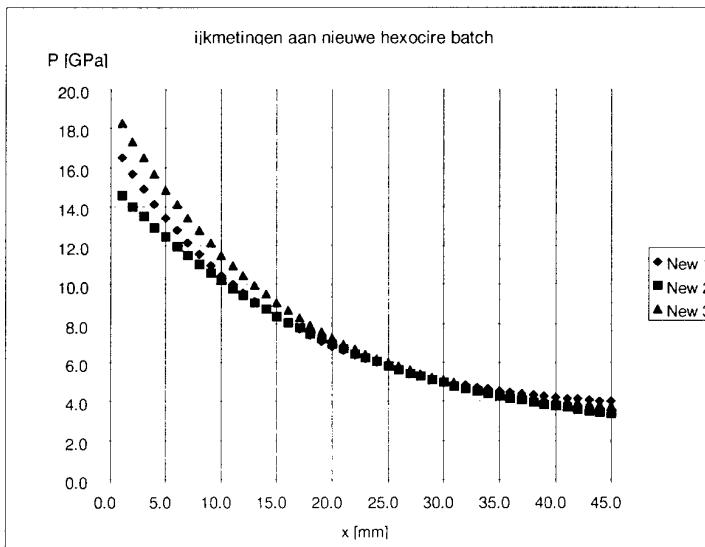
Figuur 4: Druk in PMMA uitgezet tegen lengte van de PMMA-gap in meting New1.

4 Verschillen tussen de hexocire batches

De metingen zijn allemaal gefit volgens de in het vorig hoofdstuk beschreven methode. De resultaten van deze metingen worden weergegeven in figuur 5 en 6.



Figuur 5: Druk in PMMA uitgezet tegen lengte van de PMMA-gap voor de oude hexocire batch. Resultaten zijn verkregen door het fitten van de data van metingen Old1, Old2 en Old3.



Figuur 6: Druk in PMMA uitgezet tegen lengte van de PMMA-gap voor de nieuwe hexocire batch. Resultaten zijn verkregen door het fitten van de data van metingen New1, New2 en New3.

Wanneer men de curves in figuur 5 en 6 vergelijkt, valt een aantal zaken op.

De curve van druk tegen plaats is in het geval van de oude hexocire batch veel vlakker in vergelijking met de nieuwe hexocire batch.

Dit kan enerzijds te wijten zijn aan verschillen tussen de batches en anderzijds aan de fitprocedure. Bij meting Old1 en Old2 begint het uitlezen van de film pas na circa 10 mm. Door het niet geheel in beeld hebben van de volledige PMMA-gap is de schokgolf in het begin van het PMMA niet waar te nemen. Hierdoor is slechts een beperkt bereik aan datapunten van de film uit te lezen. De fit over een beperkt bereik aan data wordt ongevoelig voor de kromming van de plaats tegen de tijd, waardoor de fit een bijna rechte vergelijking oplevert.

De druk in meting Old3 is hoog in vergelijking tot de metingen Old1 en Old2.

De oorzaak hiervoor kan niet worden gevonden. Het lijkt om een meetfout te gaan.

Als eerste wordt hierbij gedacht aan een verkeerde vergrotingsfactor. Een fout van circa 4% in de toegepaste vergrotingsfactor kan deze fout veroorzaken. Omdat de oorzaak niet meer kan worden achterhaald, is bij het gebruik van patronen uit de oude hexocire batch gebruikgemaakt van de gemiddelde waarden uit de fit aan metingen Old1 en Old2, zie hieronder in tabel 2.

Tabel 2: IJktabel met de waarden van de druk in PMMA als functie van de lengte van de PMMA-gap, voor de oude hexocire batch als donor in de TNO-gaptest.

| x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1,00 | 11,60 | 16,00 | 7,66 | 31,00 | 4,86 |
| 2,00 | 11,30 | 17,00 | 7,44 | 32,00 | 4,71 |
| 3,00 | 11,00 | 18,00 | 7,23 | 33,00 | 4,56 |
| 4,00 | 10,70 | 19,00 | 7,02 | 34,00 | 4,41 |
| 5,00 | 10,42 | 20,00 | 6,82 | 35,00 | 4,27 |
| 6,00 | 10,14 | 21,00 | 6,62 | | |
| 7,00 | 9,87 | 22,00 | 6,42 | | |
| 8,00 | 9,60 | 23,00 | 6,23 | | |
| 9,00 | 9,34 | 24,00 | 6,05 | | |
| 10,00 | 9,08 | 25,00 | 5,87 | | |
| 11,00 | 8,83 | 26,00 | 5,69 | | |
| 12,00 | 8,59 | 27,00 | 5,52 | | |
| 13,00 | 8,35 | 28,00 | 5,35 | | |
| 14,00 | 8,11 | 29,00 | 5,18 | | |
| 15,00 | 7,88 | 30,00 | 5,02 | | |

In de nieuwe hexocire batch verschilt de druk bij kleine gaplengten sterk tussen de drie metingen.

Wanneer men van de metingen New2 en New3 de gefitte en de gemeten schokgolfsnelheid uitzet tegen de tijd en deze vergelijkt met meting New1, zie figuur 3, dan valt op dat de spreiding van de gemeten snelheden in New2 en New3 rondom de gefitte curve groter is dan in New1. Echter, de trend in de met vergelijking 3 gemeten schokgolfsnelheid is voor zowel New1, New2 als New3 dezelfde. Net als bij meting New1 wordt de grootste spreiding waargenomen bij kleine gaplengten.

Een mogelijke verklaring van de variatie in druk bij kleine gaplengten kan de ongevoeligheid van de fit voor kleine x-waarden zijn. Dit is impliciet in de fit gebracht door het toepassen van de kleinste kwadratenmethode op het verschil in gefitte en gemeten plaats van het schokfront, in combinatie met het feit dat vergelijking 1 toestaat dat op het tijdstip $t=0$ niet hoeft overeen te komen met de plaats van het schokfront in $x=0$. Is dit wel het geval dan zijn de parameters PARM[1] en PARM[3] gelijk aan elkaar. Voor meting New1 kan men uit tabel 1 aflezen dat dit niet het geval is.

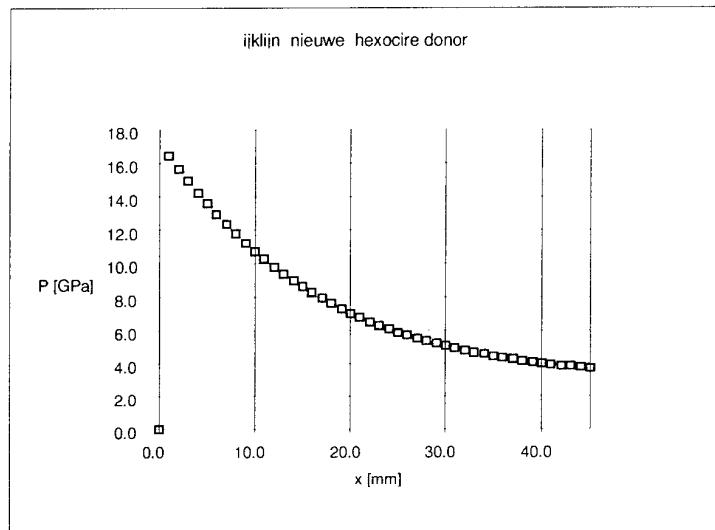
PARM[1] is echter ingevoerd omdat het begin van de acceptor niet altijd goed zichtbaar is en men de afstand tot het begin van de acceptor berekent uit de afstand tot de referentielijn op de PMMA-gap. PARM[1] komt daarmee overeen met een offset die door deze indirekte plaatsbepaling kan optreden.

Kleine variaties in de gefitte snelheidscurve komen daarnaast versterkt terug in de ijkcurve (druk versus lengte PMMA-gap) omdat de druk kwadratisch afhangt van de schokgolfsnelheid, zie vergelijking 6.

Men moet daarom enige reserve betrachten bij het toekennen van een absolute waarde van de druk in PMMA bij het gebruik van korte gaps in de TNO-gaptest. Daarnaast kan door de overgang van de detonatiegolf van de hexocire donor naar de PMMA-verzwakker en de daarmee gepaard gaande verdunningsgolven, voor kleine afstanden een zodanig radieel drukprofiel ontstaan dat de hoogste druk zich niet in de as van de gap bevindt, maar bijna aan de buitenkant van de gap [6]. De gevoeligheid van dit drukverloop voor de manier waarop de gap en donor aan elkaar zijn bevestigd is op voorhand niet bekend. Tevens is de ijkmeting scherp gesteld op de as van de PMMA-gap.

5 IJklijn nieuwe hexocire donor

Van de drie ijklijnen van de nieuwe hexocire batch is het gemiddelde berekend. Dit gemiddelde is de ijkcurve die wordt gebruikt bij karakterisatie van springstof-fen met behulp van de TNO-gaptest. De ijkcurve staat hieronder grafisch weergegeven. De gemiddelde waarden van de druk staan gegeven in tabel 3.



Figuur 7: IJklijn van de nieuwe hexocire donor voor de TNO-gaptest.

Tabel 3: IJktabel met de waarden van de druk in PMMA als functie van de lengte van de PMMA-gap, voor de nieuwe hexocire batch als donor in de TNO-gaptest.

| x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1,00 | 16,43 | 16,00 | 8,26 | 31,00 | 4,91 |
| 2,00 | 15,66 | 17,00 | 7,92 | 32,00 | 4,78 |
| 3,00 | 14,93 | 18,00 | 7,61 | 33,00 | 4,66 |
| 4,00 | 14,23 | 19,00 | 7,31 | 34,00 | 4,55 |
| 5,00 | 13,57 | 20,00 | 7,03 | 35,00 | 4,45 |
| 6,00 | 12,94 | 21,00 | 6,77 | 36,00 | 4,35 |
| 7,00 | 12,35 | 22,00 | 6,53 | 37,00 | 4,26 |
| 8,00 | 11,78 | 23,00 | 6,30 | 38,00 | 4,18 |
| 9,00 | 11,25 | 24,00 | 6,08 | 39,00 | 4,10 |
| 10,00 | 10,74 | 25,00 | 5,88 | 40,00 | 4,02 |
| 11,00 | 10,27 | 26,00 | 5,69 | 41,00 | 3,95 |
| 12,00 | 9,82 | 27,00 | 5,51 | 42,00 | 3,89 |
| 13,00 | 9,39 | 28,00 | 5,35 | 43,00 | 3,83 |
| 14,00 | 8,99 | 29,00 | 5,19 | 44,00 | 3,77 |
| 15,00 | 8,61 | 30,00 | 5,05 | 45,00 | 3,72 |

Van verschillende springstoffen kan men nu de gevoelighed bepalen met behulp van de bepaalde ijklijn. Echter, bij metingen aan de explosieve stof HNF (hydrazine nitroformaat) is gebleken [7], dat relatief lange PMMA-gaps noodzakelijk zijn vanwege de hoge gevoelighed. Hoewel een gap van 100 mm wordt gebruikt in de bepaling van de ijklijn zijn de streakfilms in de regel niet over deze gehele afstand uitgelezen in verband met beperkingen opgelegd door de microscoop. Met behulp van een speciaal gemaakte hulpstuk is de meting New2 over een grotere afstand uitgelezen. De ijktabel bij de meting New2 wordt in tabel 4 weergegeven en wordt voor de meer gevoelige springstoffen gebruikt.

Tabel 4: Ijktabel van de nieuwe hexocire donor voor de TNO-gaptest bepaald uit meting New2.

| x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] | x [mm] | P [GPa] |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 0,00 | 13,42 | 22,00 | 6,52 | 44,00 | 2,92 |
| 1,00 | 13,01 | 23,00 | 6,30 | 45,00 | 2,81 |
| 2,00 | 12,62 | 24,00 | 6,08 | 46,00 | 2,71 |
| 3,00 | 12,23 | 25,00 | 5,87 | 47,00 | 2,61 |
| 4,00 | 11,86 | 26,00 | 5,66 | 48,00 | 2,51 |
| 5,00 | 11,49 | 27,00 | 5,46 | 49,00 | 2,42 |
| 6,00 | 11,13 | 28,00 | 5,27 | 50,00 | 2,33 |
| 7,00 | 10,78 | 29,00 | 5,08 | 51,00 | 2,24 |
| 8,00 | 10,44 | 30,00 | 4,90 | 52,00 | 2,16 |
| 9,00 | 10,11 | 31,00 | 4,73 | 53,00 | 2,08 |
| 10,00 | 9,79 | 32,00 | 4,56 | 54,00 | 2,00 |
| 11,00 | 9,47 | 33,00 | 4,40 | 55,00 | 1,93 |
| 12,00 | 9,16 | 34,00 | 4,24 | 56,00 | 1,85 |
| 13,00 | 8,87 | 35,00 | 4,08 | 57,00 | 1,79 |
| 14,00 | 8,58 | 36,00 | 3,94 | 58,00 | 1,72 |
| 15,00 | 8,29 | 37,00 | 3,79 | 59,00 | 1,66 |
| 16,00 | 8,02 | 38,00 | 3,65 | 60,00 | 1,60 |
| 17,00 | 7,75 | 39,00 | 3,52 | 61,00 | 1,54 |
| 18,00 | 7,49 | 40,00 | 3,39 | 62,00 | 1,48 |
| 19,00 | 7,24 | 41,00 | 3,27 | 63,00 | 1,43 |
| 20,00 | 6,99 | 42,00 | 3,15 | 64,00 | 1,38 |
| 21,00 | 6,75 | 43,00 | 3,03 | 65,00 | 1,33 |

De verschillen tussen tabel 3 en 4 zijn aanzienlijk en te wijten aan de gebruikte fitcurve, de kwadratische afhankelijkheid van de druk en de schokgolfsnelheid. Het met kleinere tijdsstappen uitlezen van de streakfilms, zoals in referentie 3, is daarmee een belangrijke punt voor de toekomstige ijkmetingen en maakt het gebruik van een fitcurve overbodig.

6 Conclusies

In dit rapport zijn de ijkmetingen aan de hexocire donors, die in de TNO-gaptest worden gebruikt, beschreven. Tevens wordt de fitmethode gegeven op basis waarvan de druk in de PMMA-verzwakker als functie van de aangelegde afstand van de schokgolf in de verzwakker, wordt berekend.

Uit de metingen aan twee verschillende batches hexocire, geleverd door respectievelijk SNPE en Dyno Industrier AS, blijkt dat er verschillen zijn tussen de beide batches en dat de reproduceerbaarheid van de ijkcurve (druk versus lengte van PMMA-gap) bij korte gaps (dat is korter dan 10 mm) en bij lange gaps (langer dan 40 mm) nog te laag is.

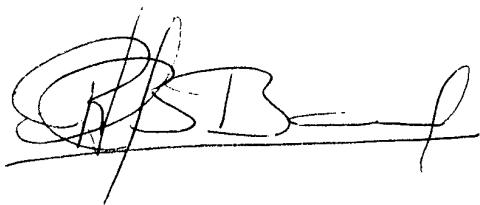
Een aantal experimentele aandachtspunten zijn te duiden, te weten:

- Uit zeer recente metingen met de TNO Mega Ampère Pulser aan gestapelde patronen is gebleken dat bij de overgang tussen de patronen altijd een korthoudende afname in de detonatiesnelheid aanwezig is. De donor in de gapstest bestaat uit twee aan elkaar bevestigde hexocire patronen en zal daarom de opbouw van het detonatiefront versturen. Daar de diameter van de hexocire donors in de gapstest 50 mm is, is het theoretisch mogelijk één patroon van 50 mm lengte te persen. Echter, de mogelijkheid bestaat dat er in een enkele, lange patroon een verloop van de dichtheid wordt geïntroduceerd.
- Voor de vergrotingsfactor van de tijd-as wordt de ingestelde omwentelingssnelheid van de spiegel van de streakcamera gebruikt. De werkelijke omwentelingssnelheid kan variëren, maar de afwijking blijft beneden 1%.
- Het uitlijnen van de opstelling van de gapstest in de bunker verdient blijvende aandacht. De scherptediepte van de huidige opstelling kan echter niet verantwoordelijk zijn voor de te lage reproduceerbaarheid.
- Het uitlezen van de streakfilm met behulp van een scanner in plaats van een microscoop zal een zeer duidelijke verbetering geven. Bij de microscoop is het uitlezen zelf een tijdrovend karwei. Met een scanner gaat dit automatisch en kan men vanaf de computer, met de resolutie van de scanner, datapunten uitlezen. Het aantal datapunten zal daarmee sterk toenemen.
- De grootste winst zal naar verwachting uit het laatste van bovengenoemde punten worden gehaald en bij volgende ijkingen worden geïntroduceerd. Zoals vermeld in referentie 3 zal de spreiding in de experimenteel bepaalde schokgolfsnelheidsdata toenemen. Echter, door de auteurs wordt ook een numerieke methode gegeven waarmee deze hoogfrequente ruis kan worden gefilterd uit de data. Het voordeel van de grote hoeveelheid data, in combinatie met het filteren van de ruis, is dat het fitten van de data aan een vergelijking zoals gedaan in dit rapport, achterwege kan blijven en een experimentele in plaats van een gefitteerde ijkcurve wordt bepaald.

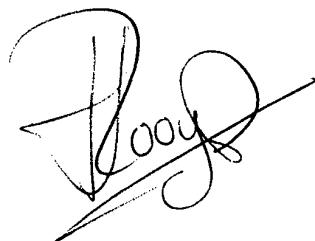
7 Referenties

- 1 Farinaccio, R.; Hooton, I.; Bélanger, C.; Jacques, P.,
DREV gap test calibration and explosive results, DREV report 4657/92,
Canada, January 1992.
- 2 Trimborn, F.; Wild, R.,
Shock-wave measurements in water for calibrating the BICT-gap test, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 7 (1982) 87-90.
- 3 Tasker, D.G.; Baker, R.N.,
Experimental calibration of the NSWC expanded large scale gap test,
NSWCDD/TR-92/54, January 1992.
- 4 Schilperoord, A.A.; Damsté, J.J.,
Onderzoek detonatieketens. V. De schokgolgdrukking van de systemen
PWL (plane wave lens)-plexiglas en tetryl-plexiglas, TL 1975-23,
20 november 1975.
- 5 Marsh, S.P.,
LASL Shock Hugoniot Data, University of California Press, Berkely,
1980.
- 6 Hudson III, L.C.; Bernecker, R.R.,
Numerical calibration of donor systems for some gap test, Propellants,
Explosives, Pyrotechnics 20 (1995) 330-336.
- 7 Mul, J.M.,
Detonability and shock sensitivity of HNF and HNF based propellants,
Technical Note Work Package 4300, NP.HG.TN.00.02018 issue 3,
5 januari 1996.

8 Ondertekening



Dr. ir. R.H.B. Bouma
Projectleider/Auteur



Ing. M.P. van Rooijen
Auteur



Dr. A.C. van der Steen
Groepshoofd

ONGERUBRICEERD

**REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)**

| | | |
|--|------------------------------|---|
| 1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD97-0019 | 2. RECIPIENT'S ACCESSION NO. | 3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1997-A19 |
| 4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 221495018 | 5. CONTRACT NO. A94KL482 | 6. REPORT DATE May 1997 |
| 7. NUMBER OF PAGES 19 (excl. RDP & distribution list) | 8. NUMBER OF REFERENCES 7 | 9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final |

10. TITLE AND SUBTITLE

IJking hexocire donors voor de TNO-gaptest
[Calibration of the hexocire donor system of the TNO gap test]

11. AUTHOR(S)

M.P. van Rooijen and R.H.B. Bouma

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands
Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands

13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

DMKL, Afdeling Munitie, P.O. Box 90822, 2509 LV The Hague, The Netherlands

14. SUPPLEMENTARY NOTES

The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))

The TNO gap test is one method to determine the shock sensitivity of a high explosive. The system consists of a donor charge, a polymethylmethacrylate PMMA attenuator (the gap) and an acceptor charge (the high explosive to be tested). The shock pressure delivered to the acceptor is varied by changing the length of the gap. The donor system (donor charge and attenuator) has been calibrated six times. This has been necessary because the composition of the hexocire donor has been changed in November 1994. The calibration is performed by determining the shock pressure as a function of the length of the gap. It appears that the change of composition of the hexocire donor results in an other calibration curve. The reproducibility of the calibration curves is to small at lower (i.e. shorter than 10 mm) and higher gap length (longer than 40 mm). This is also caused by the fit method. The determined calibration curves can be used between gap length from 10 mm until 40 mm.

16. DESCRIPTORS

IDENTIFIERS

Calibrating
GAP tests
Hexocire
Polymethyl methacrylate

17a.SECURITY CLASSIFICATION
(OF REPORT)

Ongerubriceerd

17b.SECURITY CLASSIFICATION
(OF PAGE)

Ongerubriceerd

17c.SECURITY CLASSIFICATION
(OF ABSTRACT)

Ongerubriceerd

18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT

Unlimited Distribution

17d.SECURITY CLASSIFICATION
(OF TITLES)

Ongerubriceerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst*

- 1*/2* DWOO
- 3 DWOO
- 4 HWO-KL
- 5* HWO-KLu
- 6* HWO-KM
- 7 DMKLu/DM/MWFAW1
Maj. J. Paap
- 8 DMKM/WAPCOMSYS/GEMU/H
KLtz. J.P. Naberhuis
- 9 DMKL/Munitie
Ing. J.A. van Gool
- 10 Bureau TNO-DO
- 11/13 Bibliotheek KMA
- 14* Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. B. Scarlett, M.Sc.
- 15* Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. ir. K.F. Wakker
- 16* Lid Instituuts Advies Raad PML
BGen. Prof. J.M.J. Bosch
- 17 TNO-PML, Directeur; daarna reserve
- 18 TNO-PML, Directeur Programma; daarna reserve
- 19 TNO-PML, Hoofd Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid
- 20/23 TNO-PML, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid
Dr. A.C. van der Steen, E.G. de Jong, Ing. M.P. van Rooijen en Dr. ir. R.H.P. Bouma
- 24 TNO-PML, Documentatie
- 25 TNO-PML, Archief

* De met een asterisk (*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuitreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.